

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Hlediska projektu venkovních i kabelových vedení.**

**The main aspects of design of the overhead and cable  
power lines.**

2010

Pavel Bobák

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$A$	plocha vodiče, vystavená větru [ $\text{m}^2$ ]
$A$	průřez vodiče
$C_w$	tvarový součinitel
ČR	Česká Republika
ES	elektrizační soustava
$I$	proud protékající vodiči
$I_{ko}$	počáteční rázový proud
$I_N$	jmenovitý proud
$I_p$	výpočtový proud (A)
NN	nízké napětí
P	přenášený výkon po vedení
$\Delta U$	úbytek napětí
$U_f$	fázové napětí
$U_s$	sdružené napětí
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
$dQ(\vartheta)$	vyvinuté teplo
$\vartheta$	teplota ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\vartheta_{zkr}$	dovolená teplota při zkratu
$\vartheta_{pře}$	dovolená teplota při přetížení
$\vartheta_D$	dovolená provozní teplota jader vodičů
$\vartheta_{OZ}$	základní teplota okolí
$\Delta \vartheta$	oteplení vodiče nad základní teplotu okolí
$\rho$	měrný odpor vodiče (rezistivita)
$\chi$	vodivost
$a$	šířka pole
$a$	vzájemná vzdálenost vodičů
$c$	vzdálenost vrcholu řetězovky od počátku souřadnic
$f_{\max}$	maximální průhyb
$f_x$	průhyb v bodě x
$\Delta i$	hodnota rozdílového proudu
$i_{\infty}$	trvale dovolený proud
$i_k$	časový průběh zkratového proudu
$i_k$	proud v místě ochrany
$i(t)$	proud při poruše
$k$	součinitel mechanické pevnosti
$k_e$	činitel respektující místo zkratu a dobu trvání
$k_i$	přepočítávací činitele proudové zatížitelnosti
$k_w$	součinitel výšky [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^2$ ]
$l$	délka vodičů
$r$	vnitřní odpor chráněného objektu

$t_p$	doba působení ochrany
$t_z$	doba plných ztrát za rok ( $\text{h.r}^{-1}$ )
$t_z$	doba trvání poruchy
$t_0$	doba ovládacího zařízení (vypínače)
$u_k$	napětí v místě ochrany
$v$	rychlost větru [ $\text{m.s}^{-1}$ ]
$w$	akumulovaná energie (teplo)
$w^n$	normový tlak větru [Pa]
$w_o$	základní tlak větru [Pa]
$x$	nastavení citlivosti ochrany
$x_a$	rozsah neřiditelnosti ochrany
$x_b$	skutečná citlivost ochrany
$z$	impedance zkratové smyčky

# Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ POJMY .....</b>	<b>12</b>
EKVIVALENTNÍ OTEPLOVACÍ PROUD .....	12
ELEKTRICKÁ ENERGIE .....	12
ELEKTRICKÉ VEDENÍ .....	12
IZOLACE .....	12
IZOLÁTOR .....	12
KABELOVÉ VEDENÍ .....	12
MECHANICKÁ PEVNOST .....	12
NÁMRAZA .....	12
NÁMRAZEK .....	12
OCHRANA .....	12
POLE .....	13
PORUCHOVÝ STAV .....	13
PROVOZNÍ TEPLOTA .....	13
PRŮHYB VODIČE .....	13
PŘENOSOVÉ ZTRÁTY .....	13
PŘETÍŽENÍ .....	13
ROZPĚTÍ POLE .....	13
ŘETĚZOVKA .....	13
SILOVÉ ELEKTRICKÉ VEDENÍ .....	13
STOŽÁR .....	13
ÚBYTEK NAPĚTÍ .....	13
VENKOVNÍ SILOVÉ VEDENÍ .....	13
VODIČ .....	14
ZÁVĚS VODIČE .....	14
ZKRAT .....	14
ZKRATOVÝ PROUD .....	14
<b>2 VOLBA DRUHU VODIČE .....</b>	<b>15</b>
2.1 PROVOZNÍ TEPLOTA VODIČE .....	15
2.1.1 Dovolená provozní teplota .....	15
2.1.2 Dovolené proudové zatížení .....	16
2.2 HOSPODÁRNÝ PRŮŘEZ .....	16
2.3 MECHANICKÁ PEVNOST .....	17

2.4 ZKRATOVÉ PROUDY .....	17
2.4.1 Ekvivalentní oteplovací proud $I_{ke}$ .....	18
2.5 ÚBYTEK NAPĚTÍ .....	18
<b>3 URČENÍ PRŮŘEZU VEDENÍ .....</b>	<b>20</b>
<b>4 MECHANIKA VEDENÍ, VLIVY OKOLÍ .....</b>	<b>21</b>
4.1 SILOVÉ ELEKTRICKÉ VEDENÍ .....	21
4.2 VODIČE PRO VENKOVNÍ ELEKTRICKÁ VEDENÍ .....	21
4.3 MATERIÁLY PRO POUŽITÍ VODIČŮ .....	22
4.3.1 měď (Cu) .....	22
4.3.2 ocel (Fe) .....	22
4.3.3 hliník (Al) .....	22
4.3.4 slitiny hliníku (Al) .....	22
4.3.5 jiné materiály např. bronz – použití pro zvláštní účely .....	22
4.4 KONSTRUKCE VODIČŮ .....	22
4.5 VZDÁLENOSTI VODIČŮ .....	24
4.6 SPOJOVÁNÍ VODIČŮ .....	25
4.7 PRŮHYB VEDENÍ .....	25
4.7.1 Souměrně zavěšený vodič .....	25
4.7.2 Nesouměrně zavěšený vodič .....	26
4.8 STOŽÁRY PRO VENKOVNÍ VEDENÍ .....	27
4.8.1 Zatížení stožárů .....	29
4.8.2 Druhy stožárů .....	29
4.8.3 Izolátory .....	30
4.8.4 Základy .....	30
4.9 KLIMATICKÉ PODMÍNKY .....	30
4.9.1 Teplota .....	31
4.9.2 Vítr .....	31
4.9.3 Námraza .....	32
4.9.4 Bouřky .....	33
4.10 KABELOVÁ ELEKTRICKÁ VEDENÍ SILOVÁ .....	34
<b>5 OCHRANY VEDENÍ .....</b>	<b>35</b>
5.1 PORUCHOVÉ STAVY .....	35
5.1.1 Zkrat .....	35
5.1.2 Přetížení .....	35
5.1.3 Nadpětí .....	35

5.1.4 Podpětí.....	35
5.1.5 Snížení kmitočtu.....	36
5.1.6 Zvýšení kmitočtu .....	36
5.1.7 Zemní spojení.....	36
5.1.8 Zpětný tok výkonů .....	36
5.2 DĚLENÍ OCHRAN.....	36
5.3 POŽADAVKY, KTERÉ SE KLADOU NA OCHRANY .....	36
5.3.1 Spolehlivost ochrany.....	36
5.3.2 Citlivost ochrany.....	36
5.3.3 Rychlost ochrany .....	37
5.3.4 Přesnost ochrany .....	37
5.3.5 Selektivita ochran .....	38
5.4 ZÁKLADNÍ TYPY OCHRAN.....	38
5.4.1 Proudová .....	38
5.4.2 Napěťová .....	38
5.4.3 Distanční.....	39
5.4.4 Rozdílová .....	40
5.4.5 Srovnávací .....	41
<b>6 ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>42</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>43</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>44</b>
PRO ORIENTACI SCHÉMA SÍTÍ ES .....	44

## Úvod

K rozvoji lidské společnosti je důležitý dostatek energie. Energie se obecně získává z prvotních zdrojů, jimiž jsou uhlí, zemní plyn, atd., nebo také ze zdrojů obnovitelných, jako je vítr, voda, sluneční energie, atd. Pro elektroenergetické účely se získaná energie transformuje na elektrickou. Po příslušné transformaci se musí zajistit přenos energie a její využití. Abychom mohli elektrickou energii přenést od zdroje k odběrateli, potřebujeme přenosové médium. Přenosovým médiem rozumíme vodiče, které splňují určité parametry.

Tyto parametry jsou závislé na velikosti přenášeného výkonu a na prostředí, ve kterém budou vodiče nacházet. Ze začátku je důležité správně zvolit druh vodiče. Volba je ovlivněna hned několika základními zásadami, které jsou rozepsané v první části práce, jedná se především o dovolenou provozní teplotu a dovolené proudové zatížení. V obou případech musí být dodrženy určité normované meze, při jejich překročení by mohlo dojít k materiálním škodám anebo k přerušení dodávky elektrické energie. Dalším faktorem při volbě je průřez vodiče, ve třetí kapitole jsou uvedeny základní vztahy pro jeho výpočet. Důležitá je také hospodárnost vodiče, kde se sleduje jeho životnost a s ní spojené náklady. Dále pak mechanická pevnost, úbytky napětí, zkratové proudy a jejich účinky.

Druhá část práce se věnuje mechanice vedení a klimatickým podmínkám. Jsou zde uvedeny základní materiály, konstrukce vodičů, jejich vzdálenosti, spojování a výpočet průhybu. Obsahem jsou i nosné konstrukce vedení (stožáry), dozvíme se, k jakým účelům jednotlivé druhy slouží a jaké je jejich možné zatížení.

Třetí část pojednává o poruchových stavech a základních typech ochran. Typy závisí na vyhodnocované veličině. Jsou zde rozebrány požadavky na ochrany, které musí spolehlivě a účinně zareagovat v daných situacích.

Obsahem poslední části je závěrečné zhodnocení.

Téma práce jsem si vybral z několika důvodů. V přenosu elektrické energie a v energetice vůbec vidím velikou budoucnost. Elektroenergetika je odvětví, které se stále vyvíjí a energie bude vždy zapotřebí. Jedná se o velmi složitý a důležitý obor, kterému bych rád více porozuměl a rád bych objevil pro mě dosud nepoznané stránky, které nabízí. Cílem práce je tedy mé vlastní obohacení, stejně tak obohacení čtenáře v oblasti vedení elektrické energie.

## **1 Základní pojmy**

### **Ekvivalentní oteplovací proud**

Je efektivní hodnota fiktivního proudu sinusového průběhu s konstantní amplitudou, který za dobu trvání zkratu vyvine stejné množství tepla jako skutečný zkratový proud. [4]

### **Elektrická energie**

Je to v podstatě tok volných elektronů, při vodivém spojení míst s různým elektrickým potenciálem.

### **Elektrické vedení**

Obecně označuje vodivé spojení pro přenos elektrické energie. Z technického hlediska označuje pojem vedení určité uspořádání vodičů, izolačních materiálů a konstrukcí pro přenos elektrické energie mezi dvěma body (uzly) elektrické sítě. [6]

### **Izolace**

Ochranný obal vodiče.

### **Izolátor**

Slouží k upevnění vodiče na konzolu stožáru. A izoluje vodivou konstrukci stožáru od fázového vodiče. [3]

### **Kabelové vedení**

Zařízení, které zajišťuje přenos elektrické energie. Skládá se z jednoho či několika vodičů, které mají společnou izolaci. Jeho uložení může být v zemi, pod omítkou, v kabelových kanálech, atd. [3]

### **Mechanická pevnost**

Je vlastnost materiálu, odolat při daných provozních poměrech, uložení, dynamickému působení a příslušné montáži. [2]

### **Námraza**

Určitá vrstva ledovky na vodiči. [14]

### **Námrazek**

Hmotnost námrazové vrstvy. [14]

### **Ochrana**

Ochranou nazýváme zařízení, které zajišťuje kontrolu chodu určité části energetického systému před poruchou. [1]



## **Pole**

Část vedení mezi dvěma sousedními podpěrami. [14]

## **Poruchový stav**

Stav, kdy chráněný objekt překračuje meze normálního provozu. [1]

## **Provozní teplota**

Teplota, při níž může vodič trvale pracovat, je udávaná výrobcem. [2]

## **Průhyb vodiče**

Vzdálenost mezi spojnici dvou závěsných bodů vodiče a prohnutým vodičem. [14]

## **Přenosové ztráty**

Jsou ztráty vzniklé při přenosu elektrické energie, za pomoci přenosové soustavy. Jejich velikost je ovlivněna velikostí procházejícího proudu a druhu materiálu. [2]

## **Přetížení**

Procházející proud ohřívá vodič. Při průchodu proudu většího, než je přípustný, dochází k přehřátí vodiče (přetížení). Nebezpečí požáru nebo zničení izolace. [1]

## **Rozpětí pole**

Vodorovná vzdálenost dvou závěsných bodů vodiče. [14]

## **Řetězovka**

Pomocná křivka pro výpočet závěsného vodiče. [3]

## **Silové elektrické vedení**

Zařízení sloužící pro přenos elektrické energie. Je součástí elektrizační soustavy a z konstrukčního hlediska se dělí na kabelové a venkovní. [3]

## **Stožár**

Je základním konstrukčním prvkem vedení, který nese vodiče. [3]

## **Úbytek napětí**

Díky průchodu proudu vzniká na venkovním nebo kabelovém vedení úbytek napětí. Je to vlastně pokles napětí na spotřebičích, způsobený úbytkem. [2]

## **Venkovní silové vedení**

Zařízení, které slouží pro přenos elektrické energie mimo budovy. Jeho uložení je na stožárech a konzolách nad daným terénem. [14]

## **Vodič**

Označuje vodivý materiál, tj. látku s velkou hustotou nosičů elektrických nábojů. Dobrými vodiči jsou kovy, z nichž se v elektrotechnice nejčastěji využívá měď a hliník. Dále pak označuje drát (lano) vedení nebo zařízení sloužící k vodivému spojení a tím přenosu elektřiny. [6]

## **Závěs vodiče**

Upevnění vodiče na izolátoru. [14]

## **Zkrat**

Je vzájemné vodivé spojení různých fází v daném místě elektrizační soustavy, bez spojení se zemí nebo současně se spojením se zemí. [6]

## **Zkratový proud**

Nadproud způsobený zkratem je důsledkem poruchy či nesprávného zapojení v elektrickém obvodu. [4]

## 2 Volba druhu vodiče

Obecně se vodič volí pro dané prostředí a podmínky, ve kterých se bude vyskytovat. Rovněž podle způsobu uložení a velikosti výkonu při daném uložení. Návrh vodiče vedení se může provádět podle několika hlavních zásad a to zejména:

- podle provozní teploty vodičů a kabelů
- hospodárného průřezu
- mechanické pevnosti
- zkratových proudů
- úbytku napětí

### 2.1 Provozní teplota vodiče

Vznikající teplo, tzn. ztráty, jsou závislé na průchodu proudu a druhu materiálu, z něhož je vyrobeno jádro vodiče (hliník, měď, slitiny atp.). Teplo se odvádí do prostředí, které vodič obklopuje. Velikost tohoto tepla je závislá na způsobu odvádění tepla, na teplotním spádu a na prostředí.

#### 2.1.1 Dovolená provozní teplota

Nejvyšší navržená teplota, při níž může vodič trvale pracovat, je udávaná výrobcem. Její velikost závisí na jmenovitém napětí vodičů a materiálu izolace. U holých vodičů se musí navíc dbát na bezpečnost okolí (nebezpečí vzniku požáru) a mechanické vlastnosti (trvanlivost spojů). Oteplení jádra nesmí při poruchových stavech, jako je zkrat a přetížení, být větší než dovolená teplota při zkratu ( $\vartheta_{zkr}$ ) a dovolená teplota při přetížení ( $\vartheta_{pře}$ ). Na teplotu má vliv:

- přímé sluneční záření (u venkovního vedení)
- teplota okolí
- proudové zatížení

Druh izolace	Napětí (kV)	Provozní teplota			Dovolená teplota při přetížení	Dovolená teplota při zkratu
		$\vartheta_D$ (°C)	$\vartheta_{OZ}$ (°C)	$\Delta\vartheta$ (°C)	$\vartheta_{pře}$ (°C)	$\vartheta_{zkr}$ (°C)
<b>Pryžová</b>	do 1	60	25	35	120	200
	1 až 10	60	25	35	120	150
<b>Termoplastová (PVC)</b>	do 1	65	25	40	120	150
	1 až 10	65	25	40	-	150
<b>Napuštěná papírová a kovový plášť</b>	1	80	25	55	120	200
	6	80	25	55	-	200
	10	75	25	50	-	200
	22	70	25	45	-	150
	35	65	25	40	-	150
<b>Teplovzdorná pryž</b>	do 1	80	45	35	140	200
<b>Skleněná</b>	do 1	130	90	40	180	300

<b>Holé vodiče Cu, Al, Fe, AlFe</b>	-	70	25	45	180	200 300 ( $\sigma_1$ )
	-	70	25	45	180	180 – Al 200 – Cu 220 – AlFe 300 – Fe ( $\sigma_2$ )
<b>Trubky Al, Cu, AlFe ve venkovních rozvodnách</b>	-	95	35	60	180	

**Tab.1** Základní hodnoty teplot pro dimenzování [2]

$\vartheta_D$  – dovolená provozní teplota jader vodičů

$\vartheta_{OZ}$  – základní teplota okolí

$\Delta\vartheta$  – oteplení vodiče nad základní teplotu okolí

Poznámky k tabulce:

1.  $\vartheta_{OZ}$  – platí pro umístění ve vzduchu. Při umístění v zemi je  $\vartheta_{OZ} = 20\text{ °C}$ ;
2.  $\sigma_1$  – údaj platí při namáhání menším než 100 MPa, první údaje pro vnitřní, druhý pro venkovní prostory;  
 $\sigma_2$  – údaj platí pro materiály používané pro venkovní vedení při namáhání na tah větším než 100 MPa;
3. při kabelech VN se přetížení nepředpokládá

### 2.1.2 Dovolené proudové zatížení

Nebo-li dovolený proud je hodnota střídavého nebo stejnosměrného proudu. Tímto proudem je dovoleno zatěžovat jádra vodiče nebo kabelu při daném způsobu uložení, daných provozních podmínkách a dané teplotě okolí tak, aby se nepřekročila jeho dovolená provozní teplota. Dovolенý proud se zjišťuje výpočtem pomocí přepočítávacích činitelů proudové zatížitelnosti podle vztahu:

$$I_D = k_1 k_2 \dots k_i I_N \quad (1.1)$$

kde:

- $k_1, k_2, k_3, \dots, k_i$  jsou přepočítávací činitele proudové zatížitelnosti, které respektují určité odchylky od základních podmínek
- $I_N$  je jmenovitý proud příslušného vodiče [2]

### 2.2 Hospodárný průřez

Volbou průřezu vodiče je značně ovlivněna hospodárnost rozvodu. Snaha je dosáhnout co největší hospodárnosti. Předimenzováním by se zbytečně zvýšily náklady na dané vedení. Poddimenzováním by se vlivem většího, nepříznivého ohřevu vodičů snížila jejich životnost a mohlo by dojít k výraznému zvětšení ztrát.

$$A = kI_p \sqrt{t_z} \quad (mm^2) \quad (1.2)$$

- $k$  je součinitel mechanické pevnosti
- $I_p$  výpočtový proud (A)
- $t_z$  doba plných ztrát za rok ( $\text{h.r}^{-1}$ ) [2]

## 2.3 Mechanická pevnost

– silové vodiče	Al 2,5 Cu 1,5
– pohyblivé přívody a šňůry	Cu 1
– holé vodiče na podpěrách: vnitřní	Cu 4 Al 10
venkovní	Cu 6 Al 16
– hlavní domovní vedení	Cu 10 Al 16
– odbočky k elektroměrům	Cu 4 Al 6
– elektrické zařízení pracovních strojů	
jednožilová lanka	Cu 1
vícežilové šňůry	Cu 0,75

## 2.4 Zkratové proudy

Tepelné účinky bývají řešeny hlavně u zavěšených a volně uložených vodičů. Jsou určeny působením zkratových proudů za dobu trvání zkratu. V průběhu zkratu se zanedbává teplo odevzdané do okolí. A to zejména při zjišťování tepelné odolnosti zařízení. Ve vodičích se vyvinuté teplo dá spočítat dle:

$$dQ(\mathcal{G}) = R(\mathcal{G})i_k^2(t)dt \quad (1.3)$$

- $i_k$  je časový průběh zkratového proudu s největší stejnosměrnou složkou, ale bez složky druhé harmonické
- $dQ(\mathcal{G})$  – vyvinuté teplo
- $\mathcal{G}$  – teplota (°C) [2]

Pro praxi se snažíme vyjádřit pravou stranu této rovnice vhodněji a to:

1. metodou přídavného času
2. metodou redukovaného proudu
3. metodou ekvivalentního oteplovacího proudu

#### 2.4.1 Ekvivalentní oteplovací proud $I_{ke}$

Je efektivní hodnota fiktivního proudu sinusového průběhu s konstantní amplitudou, který za dobu trvání zkratu vyvine stejné množství tepla jako skutečný zkratový proud. Můžeme tedy zkratový proud nahradit ekvivalentním oteplovacím.

$$I_{ke} = k_e I_{ko} \quad (A) \quad (1.4)$$

kde:

- $k_e$  je činitel respektující místo zkratu a dobu trvání,
- $I_{ko}$  počáteční rázový proud [4]

Průřez vodiče, který odpovídá tepelnému namáhání se určí: [2]

$$A = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \quad (m^2) \quad (1.5)$$

Dynamické účinky se sledují hlavně u pevně uložených vodičů. Dochází k velkému silovému namáhání jak jejich upevnění, tak jednotlivých prvků. Při průchodu proudu dvěma vodiči na sebe vodiče působí určitou silou. Síla působící mezi dvěma rovnoběžnými vodiči se dá spočítat dle vztahu:

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I^2}{a} \cdot l \quad (N; A, m, m) \quad (1.6)$$

kde:

- $I$  je proud protékající vodiči,
- $l$  délka vodičů,
- $a$  vzájemná vzdálenost vodičů [5]

#### 2.5 Úbytek napětí

Na venkovním nebo kabelovém vedení vzniká díky průchodu proudu úbytek napětí. Úbytek způsobí pokles napětí na spotřebičích. Tento pokles musí být v určitých normovaných mezích, aby nedošlo k ovlivnění důležitých provozních vlastností spotřebičů. Jsou to např. tyto nejběžnější případy (odchyly od jmenovitého napětí a úbytky napětí v procentech):

Elektrické soustavy veřejného rozvodu	$U_N \pm 5 \%$
	Mezní hodnoty $U_N \pm 10 \%$
Světlo	3 % – světelné sítě 5 % – společná síť 8 % – venkovní osvětlení a kabelové kanály
Motory	5 % – trvale (při spouštění maximálně tolik, aby se motor bezpečně rozběhl)
Relé, elektromagnety	+10 %, –20 %
Tepelné spotřebiče	5 %
Hlavní domovní vedení	2 % – světlo

	3 % – tepelné spotřebiče
	5 % – ostatní spotřebiče
Zdvihací zařízení (jeřáby)	6 % – sběrače hlavních trolejí
	10 % – na svorkách motorů
Doly	6 % – světlo
	10 % – motory trvale
	20 % – motory při spouštění [2]

Pro střídavá vedení vznikají úbytky na činném odporu vedení a také na reaktanci. Pro vedení NN se dá úbytek téměř zanedbat. Počítá se tedy jen s činným úbytkem, v tom případě přibližně platí:

pro jednofázovou soustavu

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} \cdot \frac{P}{U_f} \quad (1.7)$$

pro třífázovou soustavu

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot \frac{P}{U_s} \quad (1.8)$$

kde:

- P je přenášený výkon po vedení
- $\Delta U$  je úbytek napětí
- $U_f$  fázové napětí
- $U_s$  sdružené napětí
- $\rho$  je měrný odpor vodiče (rezistivita)
- A průřez vodiče [5]

Při nejvyšším teoretickém zatížení nesmí dojít k překročení dovolené hodnoty úbytku napětí. To je dáno správným návrhem průřezu vodiče.

### 3 Určení průřezu vedení

Obecně se průřez určuje pro stejnosměrná a střídavá vedení. Vypočítané hodnoty průřezů se určují z normalizované řady průřezů podle určité normy. Výsledky těchto výpočtů se hodnotám z normalizované řady pouze přibližují. Potom tedy volíme nejbližší vyšší hodnotu průřezu.

Normalizovaná řada průřezů:

1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 210; 240; 300; 350; 400; 450; atd.

Tato řada je udávána v (mm<sup>2</sup>). Pro venkovní vedení se používá od průměru 16 mm<sup>2</sup> a větší.

Určení průřezu pro stejnosměrnou soustavu:

pokud známe proud

$$A = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\chi \cdot \Delta u} \quad (\text{mm}^2) \quad (1.9)$$

pokud známe výkon

$$A = \frac{2 \cdot l \cdot P}{\chi \cdot \Delta u \cdot U} \quad (\text{mm}^2) \quad (2.1)$$

Pro jednofázovou střídavou soustavu:

pokud známe proud

$$A = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\chi \cdot \Delta u} \cdot \cos \varphi \quad (\text{mm}^2) \quad (2.2)$$

pokud známe výkon

$$A = \frac{2 \cdot l \cdot P}{\chi \cdot \Delta u \cdot U} \quad (\text{mm}^2) \quad (2.3)$$

Pro třífázovou střídavou soustavu:

pokud známe proud

$$A = \sqrt{3} \cdot \frac{l \cdot I}{\chi \cdot \Delta u} \cdot \cos \varphi \quad (\text{mm}^2) \quad (2.4)$$

pokud známe výkon

$$A = \frac{l \cdot P}{\chi \cdot \Delta u \cdot U} \quad (\text{mm}^2) \quad (2.5)$$

kde  $\chi$  je vodivost (pro měď:  $\chi = 57 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$ ; hliník:  $\chi = 33 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$ ) [10]

Vodič musí při určování průřezu vyhovovat daným podmínkám, které byly rozebrány v předešlé kapitole (pro připomenutí: dovolenému oteplení, hospodárnému průřezu, zkratovým proudům atd.).

Návrh průřezu se většinou provádí dle úbytku napětí nebo dovoleného proudového zatížení.



## **4 Mechanika vedení, vlivy okolí**

### **4.1 Silové elektrické vedení**

Je součástí elektrizační soustavy a z konstrukčního hlediska může být:

- venkovní
- kabelové

Nejdříve se navrhuje vedení z hlediska elektrického (proudové zatížení, úbytky napětí, provozní napětí, přenosové ztráty, atd.). Následně se provádí návrh z hlediska mechanického a konstrukčního. Mechanický a konstrukční návrh kabelového vedení je jednodušší, problémy se mohou výjimečně vyskytovat v rozvodech pro doly.

Pro venkovní elektrické vedení je návrh značně komplikovanější a to hlavně díky klimatickým podmínkám. Ty mohou ovlivňovat mechanický návrh na dráze elektrického vedení. Musí se brát v úvahu, že podél této navrhované dráhy venkovního vedení se mohou klimatické podmínky výrazně měnit (námrazové oblasti, vítr, atd.).

Navrhované vedení, které by odolalo veškerým extrémním povětrnostním podmínkám, lze vytvořit. Jenže bezpodmínečně se uvažuje hospodárnost navrhovaného elektrického vedení na úkor snížení odolnosti. Proto při extrémních podmínkách přijímáme určité optimální riziko škody. Konečné řešení návrhu elektrického silového vedení musí vyhovovat jak z hlediska mechanického, tak z hlediska elektrického.

Složení venkovního elektrického vedení je ze:

- základů
- stožárů
- vodičů
- izolátorů a armatur

Důležitý je i výpočet zavěšeného vodiče pro mechanický návrh elektrického vedení. Díky tomuto výpočtu se provádí dimenzování jednotlivých prvků elektrického vedení a v neposlední řadě rozmístění podpěrného zařízení (stožáry) na trase vedení.

### **4.2 Vodiče pro venkovní elektrická vedení**

Pro venkovní elektrické vedení se používá drátů, lan a závěsných vodičů. Na vodiče působí okolní chemické vlivy, a proto se při jeho volbě musí zohlednit. Volbou vodiče jsou ovlivněny jak mechanické, tak elektrické parametry venkovního vedení. Vodiče musí vyhovovat v mnoha požadavcích. Některé z nich jsou:

- velká pevnost
- malý elektrický odpor
- malá hmotnost, aby nedocházelo k nadměrnému zatížení nosných částí a pro jednodušší dopravu, naopak velká hmotnost z hlediska vlivu větru
- odolnost proti chemickým vlivům
- velký průměr z hlediska rušení korónou, ale malý průměr z hlediska vlivu větru a námrazy
- malé pořizovací náklady, atd.

### 4.3 Materiály pro použití vodičů

Za základní materiály venkovních vedení, které se mohou používat, považujeme: měď, ocel, hliník a jeho slitiny.

#### 4.3.1 měď (Cu)

Z uvedených používaných materiálů má nejnižší elektrický odpor, je odolná proti atmosférickým vlivům, chemickým vlivům a je stálá na vzduchu. Používá se polotvrdá měď a tvrdá měď. Polotvrdá s pevností v tahu 300 MPa se používá jen pro vedení do 1 kV. Tvrdá měď má pevnost v tahu 400 MPa.

#### 4.3.2 ocel (Fe)

Dnes už se nepoužívá pro elektrický přenos, a to zejména kvůli jejímu velkému elektrickému odporu. S těmito vodiči však mohou ještě někde dosluhovat úseky vedení VN. Ocel je tedy použita pro nosnou část kombinovaných lan AlFe, kotevní lana a pro zemní lana. Používá se Fe 35 s pevností 350 MPa, dále pak Fe 50, Fe 70, Fe 130. Je důležité chránit proti korozi jak lana, tak ocelové dráty (např. pozinkováním).

#### 4.3.3 hliník (Al)

Instalace se provádí v podobě lan, kombinovaných lan a drátů. Je stejně, jako měď, odolný proti povětrnostním podmínkám a stálý na vzduchu. Oproti mědi má však menší měrnou hmotnost (0,3 krát), větší elektrický odpor (1,6 krát) a větší tepelnou roztažnost (1,4 krát). Jeho pevnost není velká a proto se užívá v kombinaci se železem (AlFe lana).

#### 4.3.4 slitiny hliníku (Ald)

Používá se např. jareal, aludur a nejčastěji pak aldrey (0,3 % Fe, 0,5 % Si, 0,5 % Mg, 98,7 % Al). Tyto slitiny se vyrábějí především pro zvýšení elektrické pevnosti.

#### 4.3.5 jiné materiály např. bronz – použití pro zvláštní účely.

Mohou být používány až po daném prověření, které je prováděno v příslušné autorizované zkušebně.

### 4.4 Konstrukce vodičů

Z konstrukčního hlediska se pro elektrické venkovní vedení používají: dráty, lana prostá, lana kombinovaná, závěsné kabely, svazkové vodiče.

#### a. dráty

Mohou se používat materiály Ald, Cu nebo Fe pouze však pro vedení do 1 kV. Průřez vodičů jednotlivých materiálů pro dráty je dán Ald 16–25 mm<sup>2</sup>, Cu 6–25 mm<sup>2</sup> a pro Fe 10–20 mm<sup>2</sup>. Hliníku se využívá jen pro závěsné kabely.

#### b. lana prostá

Skládají se z několika vrstev drátů, kde se každá další vrstva zakrucuje opačným směrem a to proto, aby nedocházelo k rozplétání lana. Bývají z materiálů Al, Cu, Fe, nebo Ald. Mohou být použity pro všechna napětí silových vedení (s výjimkou lan

z polotvrdé mědi, ty lze použít jen do 1 kV). Na rozdíl od drátu má lano menší pevnost, menší indukčnost, menší modul pružnosti, větší elektrický odpor a větší hmotnost. Je však bezpečnější při provozu a ohebnější.

Nejmenší dovolené průřezy lan pro venkovní vedení VN a NN jsou uvedeny v tabulce. Pro určení průřezu lan VVN je směrodatné rušení telekomunikačních zařízení dle určité normy.

Materiál	Nejmenší dovolený průřez (mm <sup>2</sup> )	
	do 1 kV	10–35 kV
<b>Cu tvrdá</b>	6	10
<b>Cu polotvrdá</b>	6	-
<b>Ald</b>	16	25
<b>Fe</b>	10	16
<b>Lano AlFe</b>	16	16
<b>Lano AldFe</b>	16	16

**Tab. 2** Nejmenší dovolené průřezy lan pro venkovní vedení [3]

Poznámka: Pro lana se rozlišují tyto průřezy:

- elektrický (průřez plného vodiče se stejným odporem)
- jmenovitý (zaokrouhlený průřez elektrovodné části lana)
- matematický (součet průřezů všech drátů lana)

c. lana kombinovaná

Jak už z názvu vyplývá, je u lan použita kombinace materiálů. Ty se rozdělují na elektrovodnou a nosnou část. Elektrovodná část je vně lana (tvoří plášť) a má velkou vodivost. Naopak nosná část lana tvoří duši a vyznačuje se velkou pevností. Standardně se v kombinaci užívá oceli jako duše a hliníku nebo jeho slitin jako pláště. Pro kombinaci hliníku a oceli je označení AlFe X. Kde X určuje pevnost vodiče. Čím je hodnota X menší, tím je pevnost větší. Při vysoké pevnosti je průměr větší a je nebezpečí kmitání lan.

d. svazkové vodiče

Při konstrukci se nejčastěji používají AlFe lana rozmístěná ve vrcholech n-úhelníku ( $n = 2-4$ ). V porovnání s jednoduchými vodiči musíme vynaložit větší investiční náklady. Jsou také náročnější na montáž. Mají však menší náchylnost ke kmitání. Dále pak mají větší provozní kapacitu, větší proudovou zatížitelnost a menší provozní indukčnost. Svazkového vodiče se u nás užívá hlavně pro vedení VVN tedy 400 kV (se třemi vodiči ve svazku), někdy i pro vedení 110 kV (se dvěma vodiči ve svazku). Je to několik paralelních vodičů, které tvoří fázový vodič. Vodiče ve svazku bývají od sebe vzdáleny 400–450 mm. Jejich instalací dochází ke snížení povrchového gradientu a tím omezení vlivu koróny.

e. závěsné kabely

V jedné izolaci je pozinkované nosné lano a kabel s hliníkovými vodiči. U závěsných

kabelů je nejmenší dovolený průřez pro hliník  $10 \text{ mm}^2$ . Jejich využití je hlavně jako náhrada klasických přípojek v sítích NN.

#### 4.5 Vzdálenosti vodičů

Musí být navržena tak, aby při veškerých provozních podmínkách a klimatických změnách nemohlo dojít ke spojení vodičů se zemí, nosnou konstrukcí nebo samotnými vodiči mezi sebou.

- a. Vzdálenost vodičů od země na místech volně přístupných

Druh vedení	Vzdálenost (m)
Do 1 kV	5
Do 1 kV nad zemědělskými plochami	6
10–110 kV	6
220 kV	7
400 kV	8

*Tab.3 Vzdálenost vodičů od země na místech volně přístupných [3]*

- b. Vzdálenost vodičů od nosné konstrukce

Jmenovité napětí $U_n$ (kV)	Nejmenší dovolené vzdálenosti (cm)		
	I	II	III
10	12	7	-
22	20	15	12
35	30	25	18
110	90	70	40
220	180	130	80
400	270	240	145

*Tab.4 Nejmenší dovolené vzdálenosti vodičů od nosné konstrukce [3]*

Pro vedení do 10 kV musí být vodiče vzdáleny od nosných částí stožárů, konzol apod. alespoň 10 cm.

- sloupec I – při teplotě  $-5^\circ\text{C}$  a rychlosti větru do  $10 \text{ ms}^{-1}$ , bez námrazku  
 sloupec II – při teplotě  $-5^\circ\text{C}$  a rychlosti větru  $0,6 \cdot v_{\text{max}}$  (dle tabulky. xx), bez námrazku  
 – nebo při teplotě  $-30^\circ\text{C}$ , bezvětrí, bez námrazku  
 sloupec III – při teplotě  $-6^\circ\text{C}$  a rychlosti větru  $v_{\text{max}}$  bez námrazku

c. Vzdálenost mezi vodiči na konstrukci pro různá napětí

Vodič s vyšším napětím (kV)	Nejmenší vzdálenost (cm) od vodiče s napětím						
	do 1 kV	1-10 kV	22 kV	35 kV	110 kV	220 kV	400 kV
do 1	20	-	-	-	-	-	-
1-10	32	22	-	-	-	-	-
22	40	30	30	-	-	-	-
35	50	40	40	40	-	-	-
110	-	-	-	-	90	-	-
220	-	-	-	-	190	190	-
400	-	-	-	-	340	340	340

*Tab.5 Nejmenší dovolené vzdálenosti mezi vodiči různých napětí na konstrukci [3]*

## 4.6 Spojování vodičů

Provádí se:

- lisovanými spojkami
- šroubovým spojením
- kroucením
- vazem

Lana a kabely se vyrábějí v omezených délkách. Při přenosu elektrické energie na dlouhé vzdálenosti jsou tyto délky nedostačující a proto se musí spojovat. A to jak mechanicky, tak elektricky. Na spojkách nesmí dojít ke korozi. Spoj vodičů je namáhán tahem a musí snést alespoň 90 % zaručené únosnosti vodičů.

## 4.7 Průhyb vedení

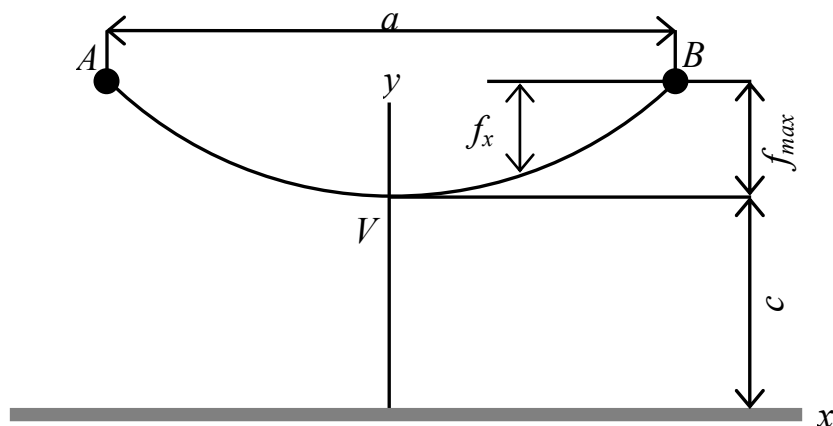
Je-li vodič zachycený mezi dvěma závěsnými body, dojde k jeho průhybu. To je způsobeno vlastní hmotností vodiče. Pro závěsné vodiče se v praxi nejvíce používá výpočet podle řetězovky. Pro jednoduchost byl dříve používán výpočet podle paraboly, jenž je použitelný pro rozpětí až 400 m.

Zavěšení vodičů rozeznáváme z hlediska uchycení na:

- souměrné
- nesouměrné

### 4.7.1 Souměrně zavěšený vodič

Závěsné body se nacházejí ve stejné nadmořské výšce a maximální průhyb je v polovině rozpětí vodiče.



**Obr.1** ( $a$  – šířka pole,  $c$  – vzdálenost vrcholu řetězovky od počátku souřadnic,  $f_{\max}$  – maximální průhyb,  $f_x$  – průhyb v bodě  $x$ ) [7]

Průhyb v obecném bodě se dá spočítat dle rovnice řetězovky: [3]

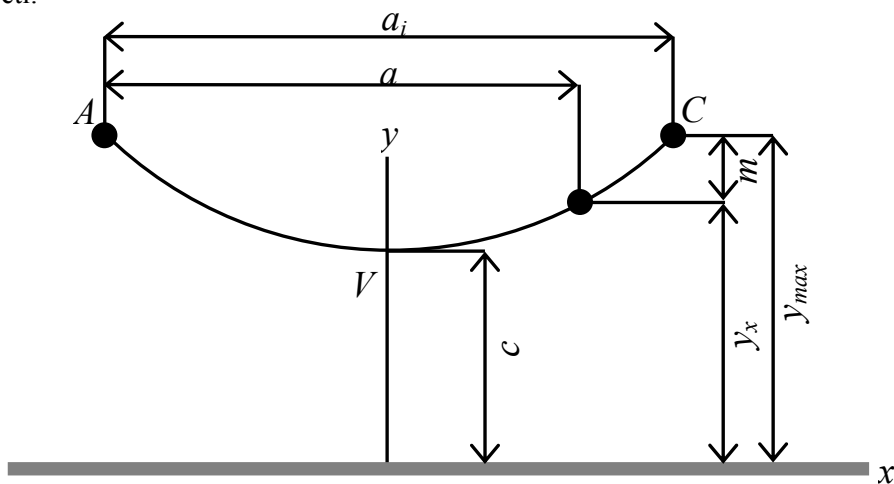
$$f_x = C \cdot \left( \cosh \frac{a}{2c} - \cosh \frac{x}{c} \right) \quad (m) \quad (2.6)$$

Při použití rovnice průhybové křivky dle paraboly se maximální průhyb určí: [3]

$$f_{\max} = \frac{a^2}{8c} \quad (m) \quad (2.7)$$

#### 4.7.2 Nesouměrně zavěšený vodič

Při tomto zavěšení nejsou závěsné body ve stejné výšce. Maximální průhyb tedy není v středu rozpětí.



**Obr.2** ( $m$  – převýšení,  $a$  – šířka pole,  $a_i$  – fiktivní rozpětí) [7]

Převýšení „ $m$ “ se určí jako rozdíl  $y_{\max}$  a  $y_x$ . Z daného převýšení můžeme určit ideální rozpětí  $a_i$ , čímž tento případ převedeme na případ se závěsy ve stejné výšce. Z toho plyne, že pro výpočet můžeme použít výše uvedené vzorce.

Vztah pro určení ideálního rozpětí: [7]

$$a_i = \frac{2 \cdot c \cdot m}{a} + a \quad (2.8)$$

Maximální průhyb dle paraboly pak určíme ze vztahu: [7]

$$f_{\max} = \frac{a_i^2}{8c} \quad (m) \quad (2.9)$$

#### 4.8 Stožáry pro venkovní vedení

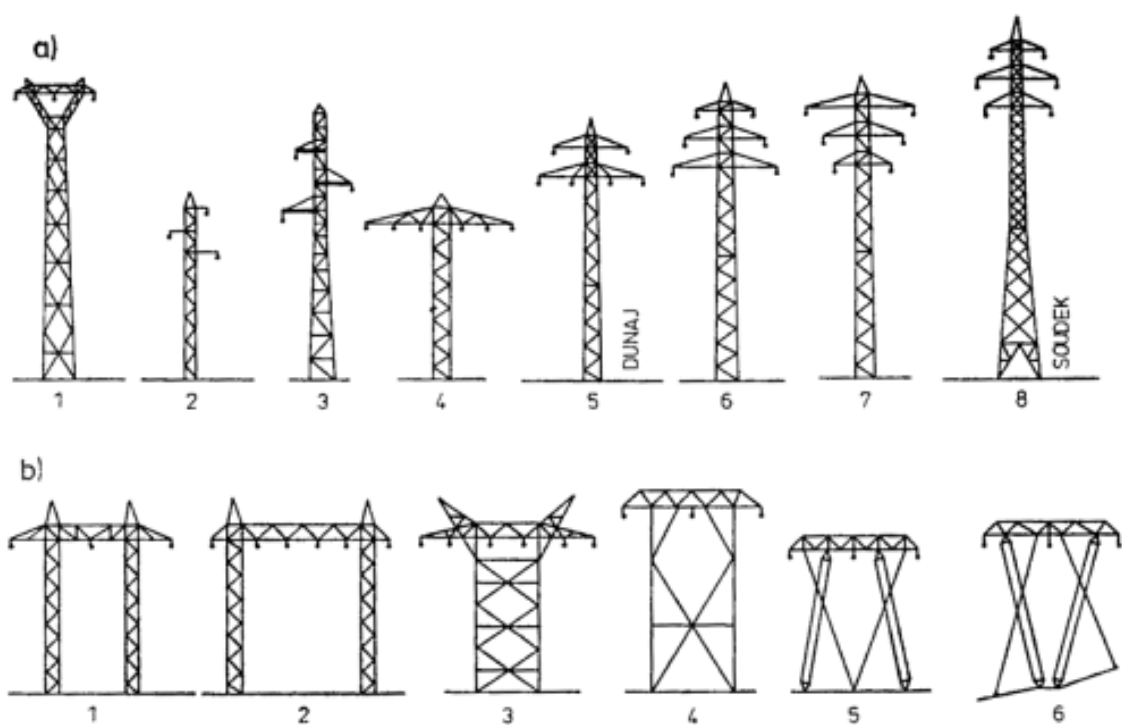
Typ, tvar a rozměry použitého stožáru závisí na vzájemném uspořádání vodičů, provozním napětí, profilu terénu, druhu a počtu fázových vodičů a zemních lan. Dále pak na funkci stožárů a silách na ně působících. V neposlední řadě i na únosnosti půdy. Stožár je důležitou konstrukční součástí elektrického vedení, která vodiče nese. Podle uspořádání vodičů, dovolených vzdáleností vodičů nad terénem, průhybu vodičů a typu použitých izolátorů se určuje výška stožáru.

Statické soustavy (konstrukce) dělíme na:

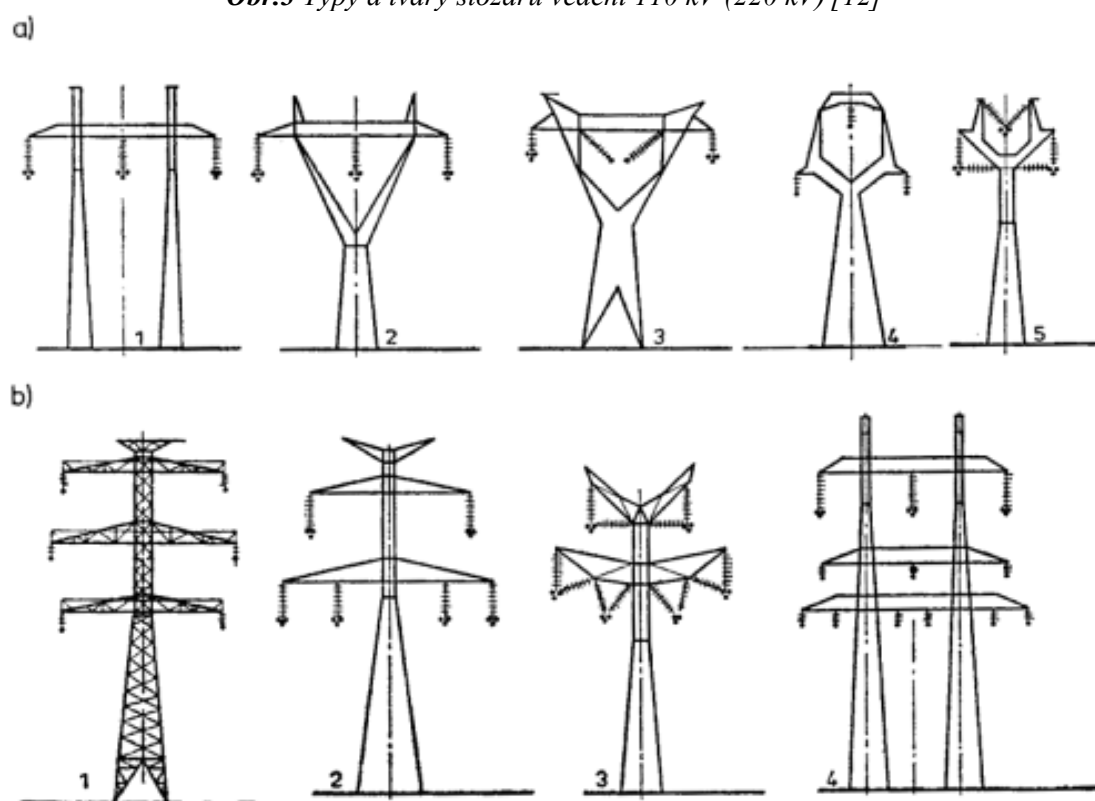
- jednodříkové s konzolami (jeden dřík jako nosná konstrukce)
- portálová konstrukce (většinou dva dříky spojené v jednoduchou konstrukci)
- kotvené stožáry (portálová konstrukce, jednodříková)
- prostorová prutová konstrukce (různé uspořádání)

Skupiny stožárů VVN by se daly rozlišovat souhrnně podle napětí:

- pro napětí 110 kV, relativně lehké konstrukce
- pro napětí 220 kV, tvarově podobné stožárům pro 110 kV, jsou však vyšší a více namáhány
- pro 400 kV, těžké konstrukce, z důvodu těžkých vodičů a velkých rozměrů [12]



**Obr.3** Typy a tvary stožárů vedení 110 kV (220 kV) [12]



**Obr.4** Typy a tvary stožárů vedení 400 kV [12]



#### 4.8.1 Zatížení stožárů

Zatížení, které působí na stožáry dělíme na:

- stálé
- nahodilé

Za zatížení stálá se uvažují:

- hmotnost vodičů zemních a kotevních lan
- hmotnost konstrukce stožárů, konzol a držáků zemních lan
- hmotnost izolátorových závěsů
- tahy z přepětí kotevních lan kotvených stožárů

Za zatížení nahodilá se uvažují:

- nahodilá krátkodobá
- montážní zatížení
- hmotnost pracovníka s náradím
- tlak větru na stožár, zemní a kotevní lana, izolátorové závěsy vodiče
- hmotnost námrazku na vodičích a zemních lanech
- výslednice tahů omrzlých nebo neomrzlých vodičů a zemních lan

Nahodilá mimořádná:

- zatížení při přetržení jednoho lana ze svazku nebo celého svazku
- zatížení při přetržení jednoho vodiče nebo zemního lana

Pro orientaci rozpětí podpěrných bodů

Sít'	Běžné rozpětí	Max. rozpětí
NN vedení	30 m	40 m
VN lehké vedení	60–80 m	90 m
VN střední vedení	80–90 m	100 m
VN těžké vedení	100–120 m	200 m
VVN vedení	300 m	

*Tab.6 Rozpětí podpěrných bodů [8]*

#### 4.8.2 Druhy stožárů

Rozdělení stožárů podle účelu použití:

- nosné N

Jsou to mezilehlé stožáry základního typu pro přímé trasy. Musí vydržet zatížení způsobené nesenými vodiči a k tomu případné další zatížení (větre, námrazou). Největší zatížení je, když vítr působí kolmo na vedení. Vodorovné síly tahů vodičů se ruší na izolátorech.

- výstužné V

Jejich výstavba se provádí každé tři kilometry. Při použití svazkových vodičů každých pět kilometrů. Jsou na trase pevnými body a slouží také k napínání vodičů. Musí unést základní

zatížení jako stožáry typu N. Za výjimečných podmínek (např. přetržení vodičů) musí odolat 2/3 jednostranného tahu.

- rohové R

Jsou umístěny tam, kde je třeba změnit směr trasy vedení. Tyto stožáry slouží jako výstužné a nosné. Jejich úkolem je vydržet výslednici tahů vodičů.

Dále se pak dělí stožáry na rozvodné, odbočné, křižovatkové, koncové atd. Křižovatkové se užívají tam, kde se křižují dvě vedení libovolného napětí, např. distribuční a trakční.

Dělení podle použitého materiálu:

- dřevěné
- betonové
- ocelové

#### **4.8.3 Izolátory**

Slouží k mechanickému upevnění vodiče ke stožáru a izolují elektricky vodivou konstrukci stožáru od vodiče. Jsou namáhány jak elektricky – v okolí vodiče se vyskytuje elektrické pole, jenž na izolátor působí; tak mechanicky – působením tahů ve vodičích. Izolátory stejně jako vodiče musí odolávat klimatickým podmínkám. Izolátory pro venkovní vedení jsou:

- závěsné (použití od 22 kV)
- podpěrné (použití do 35 kV)

Výhodou závěsných izolátorů je, že při přetržení vodiče odlehčují stožár a vyrovnávají tahy sousedních polí. Jejich montáž je snadnější.

#### **4.8.4 Základy**

Bod základy zde nebude rozebírán, protože není předmětem této bakalářské práce.

### **4.9 Klimatické podmínky**

Elektrické silové vedení je vystaveno počasí a jeho změnám. To má značný vliv při mechanickém návrhu venkovního vedení. Nejčastější vlivy počasí jsou:

- změny teploty (nejvyšší a nejnižší teplota)
- námraza
- vítr
- bouřky
- jejich kombinace

Stává se, že některé vlivy působí na vedení zároveň. Mají tedy náhodné vlastnosti, které nelze přesně předvídat. Dá se jim však přiblížit pomocí dlouhodobého sledování klimatických podmínek v místě, kde je vedení navrhováno.

Pro zjištění největšího dovoleného mechanického namáhání se určují tyto případy počasí:

- a)  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bezvětří a vodiče s námrazkem dle příslušné oblasti (hmotnost námrazku se vyjadřuje kg na 1 m vodiče)
- b)  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vítr na neomrzlý vodič

- c) +40 °C a bezvětří (oteplení vodičů proudem se neuvažuje, je-li trvalá proudová zatížitelnost vodičů 80 % jmenovité zatížitelnosti dle ČSN 34 1020, je-li větší, musí se uvažovat teplota +60 °C)
- d) –30 °C, bezvětří a vodiče bez námrazků
- e) –5 °C a vítr na omrzlý vodič [3]

#### 4.9.1 Teplota

Jedním z důležitých faktorů je teplota vodiče. Změnou teploty se materiál rozpíná, nebo smršťuje, to má velký vliv na délku vedení. Při smršťování vodiče dochází k jeho namáhání a k silovému působení na nosnou konstrukci. Při rozpínání naopak k prověšení vodiče. Teplotu ovlivňují:

- sluneční záření
- teplota okolního vzduchu
- proudová zatížitelnost

Rozmezí teplot vzduchu pro naše poměry se uvažuje v extrémech –30 °C až +40 °C. Zcela výjimečně může dojít k překročení. Při výpočtu se vliv slunečního záření neuvažuje. Výjimkou může být případ proudového zatížení, které přesáhne 80 % jmenovitého proudového zatížení. Pak se uvažuje maximální teplota +60 %.

#### 4.9.2 Vítr

Vítr, další z vlivů, působí svým tlakem negativně na nosné prvky i vodiče. Chová se jako přídavné zatížení vodiče. Vodiče jsou větrem vychylovány ze svislé polohy a dochází k jejich kmitání. Tím se vodič ohýbá. Ohyb se projevuje na vazech a svorkách.

Povětrnostní vlivy nelze přesně určit. Předpokládá se, že směr působení větru při zatížení je vodorovný na elektrické vedení. Počítá se statická složka zatížení větrem, ale pro stožáry s vyššími závěsy (nad 40 m) také složka dynamická.

Statická složka zatížení větrem působící kolmo na vodiče se určí ze vztahu:

$$W = w^n \cdot A \quad [N] \quad (3.0)$$

kde:

- $w^n$  [Pa] normový tlak větru
- $A$  [m<sup>2</sup>] plocha vodiče, vystavená větru
- člen  $w^n$  určíme z rovnice:

$$w^n = w_o \cdot k_w \cdot C_w \quad [Pa] \quad (3.1)$$

kde:

- $w_o$  [Pa] základní tlak větru na území ČR je  $w_o = 550$  Pa
- $k_w$  [m<sup>2</sup>.s<sup>2</sup>] součinitel výšky, závisí na rychlosti větru a určí se ze vztahu:

$$k_w = \left( \frac{v}{29,6} \right)^2 \quad [m^2 \cdot s^{-2}] \quad (3.2)$$

- $v$  [m.s<sup>-1</sup>] rychlost větru
- $C_w$  [-] tvarový součinitel (je dán např. úhlem mezi směrem větru a osou vodiče, nerovnoměrností tlaku větru na vodič, atd.) [7]

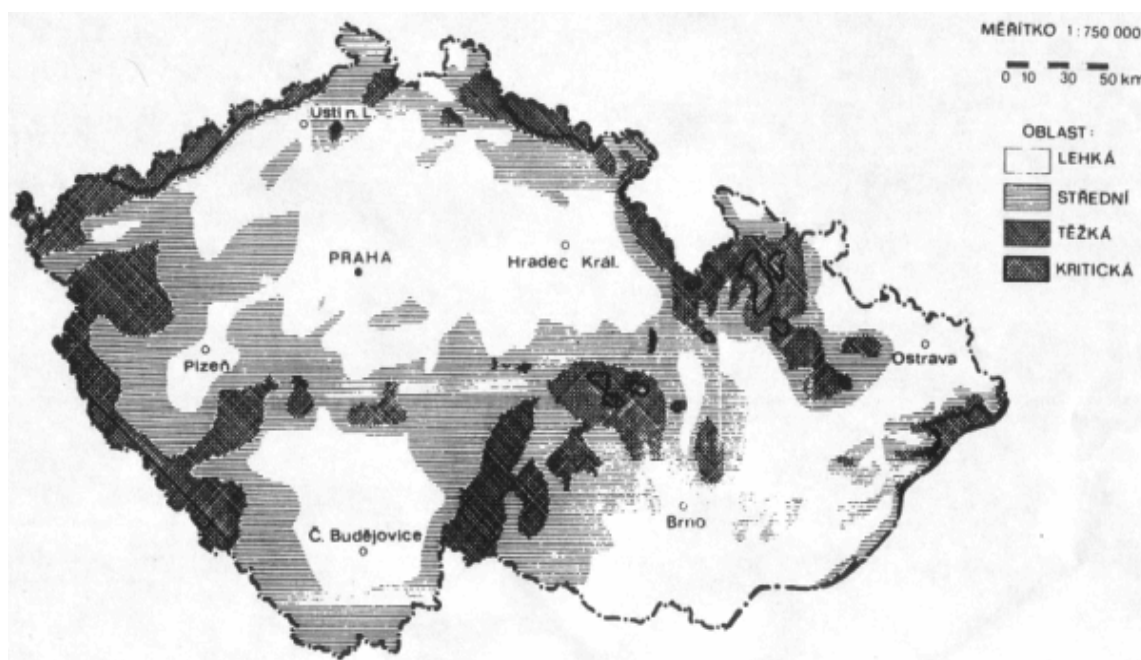
Výška vodiče nad terénem (m)	Rychlost větru $v$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Součinitel nerovnoměrnosti	Nerovnoměrný tlak větru na vodič $w_n$ pro průměr vodiče $d < 16 \text{ mm}$
0 ÷ 20	29,6	0,80	440
20 ÷ 40	33,5	0,75	525
40 ÷ 100	38,0	0,75	675
100 ÷ 150	43,8	0,75	900

*Tab. 7 Hodnoty pro výpočet síly větru na vodiče [3]*

#### 4.9.3 Námraza

Váha vzniklého námrazku na vodiči způsobuje další nežádoucí zatížení. Námraza vzniká při inverzi, kdy je teplota u země nižší než ve vyšších polohách. Dále námrazky vznikají, sníží-li se teplota na nulu a nižší. Voda se v ovzduší objevuje ve stavu mlhy (sražené vodní páry), při kontaktu takové podchlazené mlhy s vodičem či stožárem dojde k vytvoření námrazku. Postupně se vodiče obalí námrazkem celé. Námrazky se určují podle námrazových oblastí, velikost je dána charakterem krajiny a nadmořskou výškou. Pro ČR jsou čtyři námrazové oblasti.

- K kritická
- T těžká
- S střední
- L lehká



*Obr. 5 Námrazová mapa ČR [7]*

Námrazová oblast	Hmotnost námrazku na délce 1 m		Tloušťka námrazku t (mm)
	Měřicí tyč d = 30 mm $g_t \cdot (\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$	Vodič s průměrem d (mm) g ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ )	
<b>Lehká L</b>	1,0	$0,361 + 0,0213d$	17,0
<b>Střední S</b>	2,0	$0,959 + 0,0347d$	20,6
<b>Těžká T</b>	3,0	$1,638 + 0,0454d$	36,1
<b>Kritická K</b>	3,0	$1,257t \cdot (d + t) \cdot 10^{-3}$	$225 + 795,8 \cdot g_t - 15$

**Tab. 8** Velikost námrazků na vodiči [3]

V běžných podmínkách se vyskytují námrazky o hmotnosti 3 kg na 1 m délky. V kritických oblastech bývají větší a stanoví se podle dlouhodobé zkušenosti provozovatelů, porovnáním nebo měřením. V literatuře se uvádí extrémní námrazky 8–80 kg na 1 m délky.

Vlivem námrazy může dojít k ohnutí nebo zlomení stožáru, taktéž k přetržení vodičů. To má za následek nejen škody na vedení, ale i přerušení dodávky elektrické energie. V takových případech je oprava prováděna v těžkých klimatických podmínkách. Proto se snažíme odstraňovat a omezovat množství námrazy.

Námrazu lze uměle odstranit:

- vyhříváním vodičů za pomoci proudu s přídavného zdroje
- oklepem izolačními tyčemi

#### 4.9.4 Bouřky

Za bouřkové činnosti může dojít k zásahu elektrického venkovního vedení bleskem. Tím může být ohrožen jeho provoz. Proto se elektrické venkovní vedení chrání:

- před přímým zásahem blesku (zemním lanem)
- před indukovaným napětím (dostatečnou izolací a svodiči přepětí)
- před zpětným přeskokem (dostatečnou izolací a dostatečně malým odporem uzemnění stožárů)

Pro návrh ochrany je důležitý počet bouřkových dní za rok a jejich rozložení. [3]

V ČR je v průměru za rok:

- ve vyšších polohách 30–45 bouřkových dní
- v nižších polohách 20–30 bouřkových dní

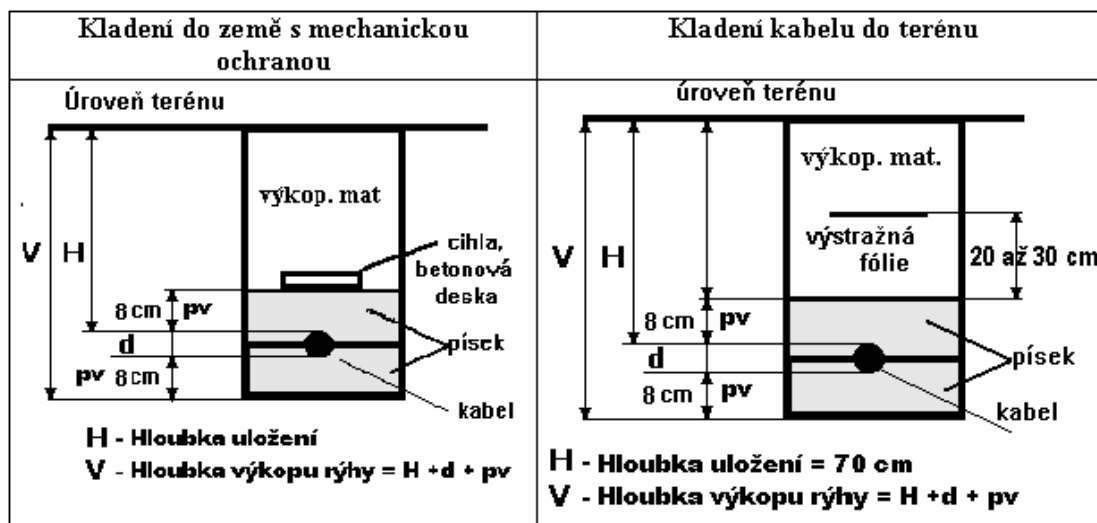
Ve světě se vyskytují extrémní případy počtu bouřkových dní za rok:

- v západní Kanadě 0,5 bouřkových dní
- v tropech až 220 bouřkových dní

#### 4.10 Kabelová elektrická vedení silová

Jednožilové kabely se používají pro silová vedení VN a VVN, vícežilové pro nižší napětové hladiny. Mechanický návrh je jednodušší než pro venkovní vedení, jak již bylo výše uvedeno. Nejdůležitější je ukládání kabelů, kdy se musí zajistit předepsaná hloubka, povolený ohyb atp.

Ukládání kabelů může být na rošty, kabelové lávky, na rovný podklad, pod omítku, do kabelových kanálů, tvárnic, do země, atd. Vkládají-li se kabely do vody, musí být brán ohled na materiál pláště, který nesmí vodu znehodnocovat.



Obr.6 Pokládání kabelů do země [13]

Při kladení kabelů do země je musíme chránit před mechanickým poškozením pomocí cihel, tvárnic, atp., ty musí s dostatečným přesahem kabely zakrývat. Tam, kde nemůže dojít k mechanickému poškození, je možno pokládat kabely bez mechanické ochrany. Podmínkou je dostatečné označení např. plastovou folií. To platí pouze pro kabely do 1 kV. Ukládání do rour nebo kabelových kanálů se provádí při zvýšeném mechanickém namáhání. Uspořádání vedle sebe či do trojúhelníku se volí pro jednožilové kabely.

Napětí (kV)	Hloubka uložení (cm)		
	Terén	Chodník	Vozovka
1	35 (70)	35	100
do 10	70	50	100
do 35	100	100	100
110	130	130	130

Obr.9 Hloubky uložení kabelů do země [3]

## 5 Ochrany vedení

Kontrolu chodu určité části energetického systému zajišťuje zařízení, které nazýváme ochrana. Její základní vlastností je získat o chráněném objektu danou informaci. To se provádí za pomoci transformátorů napětí a proudů, případně i čidel. Funkcí ochrany je rozeznat, zda se jedná o poruchu, nebo jestli je chráněný objekt v mezích normálního provozu. Nastane-li porucha, dojde k zabránění havarijního stavu daného chráněného objektu.

### 5.1 Poruchové stavy

Poruchové stavy (zkrat, přetížení, nadpětí, podpětí, zvýšení nebo snížení kmitočtu, zemní spojení, zpětný tok výkonů atp.) jsou v elektrických soustavách nebezpečné.

#### 5.1.1 Zkrat

Vznikne vzájemným spojením dvou nebo více fází, případně spojením fáze a země v síti s přímo uzemněným uzlem. Proud, který prochází vedením, je potom několikanásobně vyšší než jmenovitý. Jeho důsledkem je tepelné, elektrické a mechanické poškození vedení. Při poškození tepelném dochází ke zničení vodičů vlivem tavení. Elektrické způsobí poničení izolátorů a dielektrik. Vlivem zkratových sil vzniká mechanické poškození. Příčiny zkratu jsou nejčastěji mechanickým poškozením, vlivem počasí, špatnou manipulací, únavou materiálu (izolace).

#### 5.1.2 Přetížení

Přetížení je, když zařízením nebo vodiči prochází příliš velké množství energie. Jinými slovy, procházející proud přesahuje jmenovitou hodnotu. Při dlouhodobém působení má přetížení za následek mechanické a tepelné poškození. Dalším negativním důsledkem je rychlejší stárnutí izolace.

#### 5.1.3 Nadpětí

Nadpětí znamená překročení napětí nad dovolenou mez. Způsobuje přídavné ztráty, jako je stárnutí a poškození izolace nebo zvýšené nebezpečí zkratu. Nadpětí vznikají spínacími pochody v obvodech s velkými kapacitami nebo indukčnostmi, poruchou regulace napětí nebo při úderu blesku do vedení či jiných částí rozvodného zařízení.

#### 5.1.4 Podpětí

Odebírá-li připojené zařízení konstantní výkon, vlivem podpětí dochází k proudovému přetěžování.

$$i = \frac{P}{u} \quad (3.3)$$

Příčina podpětí může být poruchou regulace napětí, nedostatečnou kompenzací nebo přetížením. [1]

### 5.1.5 Snížení kmitočtu

Nastane v síti přetížením zdrojů energie. Snížením kmitočtu dojde ke zvětšení magnetizačních proudů. Zvýší se oteplení a ztráty. [1]

$$i_m = \frac{u}{2\pi f l_b} \quad (3.4)$$

### 5.1.6 Zvýšení kmitočtu

Na připojené stroje a chráněné zařízení působí mechanicky. Zvýšení bývá způsobeno poruchou regulace výkonu.

### 5.1.7 Zemní spojení

Nastane při galvanickém spojení země a jedné fáze v síti s izolovaným uzlem. Při zemním spojení je nebezpečí vzniku následného zkratu. Příčiny zemního spojení mohou být stejné jako u zkratů.

### 5.1.8 Zpětný tok výkonů

Ten je nebezpečný zejména pro točivé stroje. Může tyto stroje poškodit. Hlavní příčiny jsou špatná energetická bilance v síti nebo chybná regulace výkonu.

## 5.2 Dělení ochran

- a. Podle typu chráněného objektu  
(transformátoru, vedení, motoru atd.)
- b. Podle druhu poruchy  
(zkratové, přepětové, při přetížení atd.)
- c. Podle funkčního principu  
(srovnávací, distanční, napětové atd.)
- d. Podle doby působení  
(mžikové, časově závislé a nezávislé)
- e. Podle konstrukce  
(tranzistorové, digitální, elektromechanické)

## 5.3 Požadavky, které se kladou na ochrany

### 5.3.1 Spolehlivost ochrany

Je jedna z nejzákladnějších vlastností ochrany. Nastane-li porucha, nesmí dojít k selhání ochrany. Naopak není-li na daném objektu porucha, ochrana nesmí samovolně působit. Větší spolehlivosti se dosahuje správnou montáží, jednoduchostí (čím méně součástí, tím menší pravděpodobnost poruchy), údržbou ochran (v periodických intervalech se provádějí revize ochran).

### 5.3.2 Citlivost ochrany

Ochrana je nastavena na určitou velikost měřené veličiny, podle této veličiny dochází



k vyhodnocení, jestli se jedná či nejedná o poruchový stav. Hranice sepnutí ochrany je nastavena na nižší hodnotu, než je hodnota poruchového stavu. Hranice je nastavena jak z hlediska bezpečnosti, tak z hlediska materiálních škod.

### 5.3.3 Rychlost ochrany

Jinými slovy, doba působení od vzniku poruchy do vypnutí vypínače. Při vysoké rychlosti působení ochrany se nároky na dimenzování chráněného objektu zmenšují. Akumulované teplo uvnitř zařízení je při zkratu přímo úměrné době trvání poruchy. Chráněný objekt musí být na toto teplo dimenzován:

$$w = \int_0^{t_z} ri^2(t)dt \quad (3.5)$$

Při konstantním proudu poruchy:

$$w = \int_0^{t_z} ri^2 dt = ri^2 t_z = ri^2 \cdot (t_p + t_0) \quad (3.6)$$

kde:

- $w$  je akumulovaná energie (teplo)
- $t_z$  doba trvání poruchy
- $t_p$  doba působení ochrany
- $t_0$  doba ovládacího zařízení (vypínače)
- $r$  vnitřní odpor chráněného objektu
- $i(t)$  proud při poruše [1]

Rychlé vypnutí poruchy zvyšuje stabilitu soustavy a omezuje chod spotřebičů při sníženém napětí. Rychlost ochrany musí být v relaci s rychlostí ovládacího zařízení.

Protože:

$$t_z = t_p + t_0 \quad (3.7)$$

Je nutné požadovat i rychlou funkci vypínačů a ostatního ovládání objektu.

### 5.3.4 Přesnost ochrany

Vyjadřuje se v procentech a je to poměrná chyba citlivosti ochrany.

$$p = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100 \quad (\%) \quad (3.8)$$

kde:

- $p$  je přesnost ochrany (%)
- $x$  nastavení citlivosti ochrany
- $x_b$  skutečná citlivost ochrany
- $x_a$  rozsah neřiditelnosti ochrany [1]

### 5.3.5 Selektivita ochran

Hlavní schopností je reagovat pouze na část soustavy, v níž vznikla porucha. Vypínán je tedy co nejmenší úsek energetické soustavy – úsek s poruchou. Nesmí být omezena možnost funkce záložních ochran. Odstupňováním úrovně nastavené veličiny, časovým odstupňováním, směrovým nastavením ochran, porovnáním vybraných veličin na začátku a na konci chráněného úseku, těmito způsoby se dosahuje větší selektivity ochran.

## 5.4 Základní typy ochran

### 5.4.1 Proudová

Měřenou veličinou je velikost proudu. Zvětší-li se proud přetížením či zkratem, začne působit nadproudová ochrana. Rovnice je potom závislost doby působení  $t$  na proudu  $i$ :

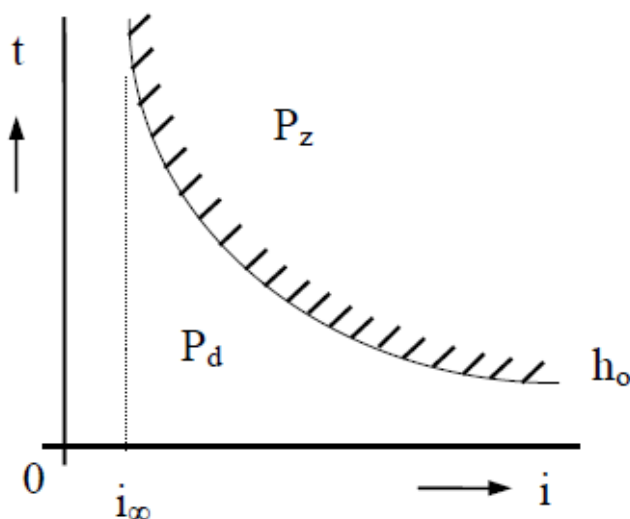
$$F(i, t) = 0 \quad (3.9)$$

kde  $i_{\infty}$  je trvale dovolený proud ( $t \rightarrow \infty$ ) [1]

Proudové ochrany nejsou tolik selektivní, ale používají se především pro svou jednoduchost. Z tohoto důvodu se využívají jako záložní ochrany nebo u zařízení s menší důležitostí.

Nadproudové ochrany se rozeznávají na:

1. Závislé
2. Polozávislé
3. Nezávislé
4. Mžikové



Obr.7 Charakteristika nadproudové ochrany [11]

### 5.4.2 Napět'ová

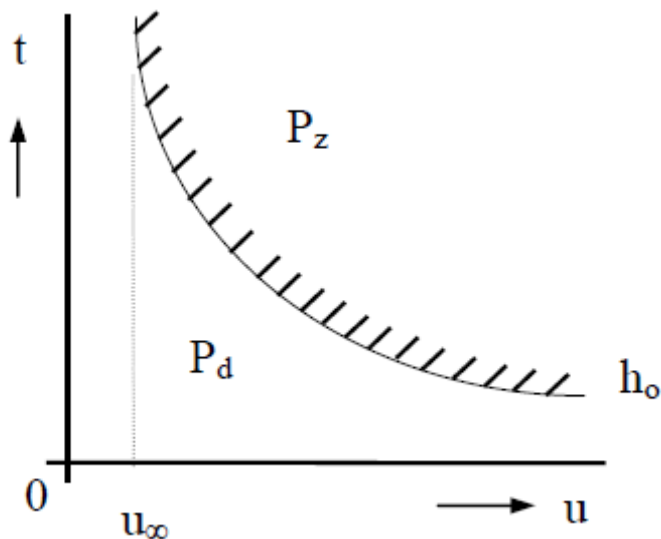
Působí při poklesu (podpět'ová ochrana) nebo naopak při vzrůstu (nadpět'ová ochrana) napětí. Rovnici pak můžeme psát: [1]

$$F(u, t) = 0 \quad (4.1)$$

Jsou podobné jako proudové, rozdíl je ve vstupní impedanci článku. U proudových ochran se volí malá a u napěťových ochran velká vstupní impedance.

Napěťové ochrany se používají jako:

1. nadpěťové (ochrana izolace)
2. podpěťové (ochrana při přetížení podpětím, blokování proudových ochran)



**Obr.8** Charakteristika napěťové ochrany [11]

### 5.4.3 Distanční

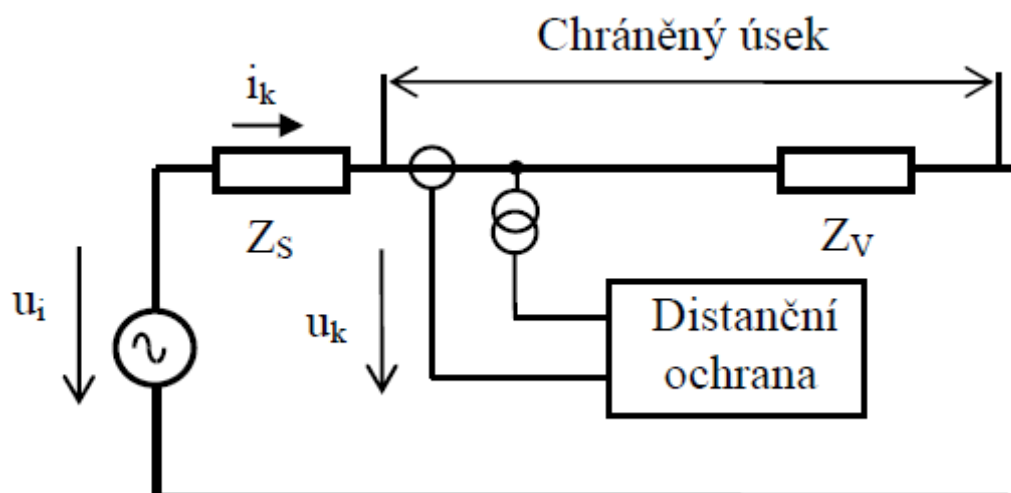
Pracuje na principu měření impedance zkratové smyčky. Napětí  $u_k$  a proud  $i_k$  jsou měřeny ochranou, při zkratu jsou tyto veličiny vázány vztahem:

$$u_k = z \cdot i_k \quad (4.2)$$

kde:

- $u_k$  je napětí v místě ochrany
- $i_k$  proud v místě ochrany
- $z$  impedance zkratové smyčky [1]

Impedance zkratové smyčky je dána veličinami  $u_k$ ,  $i_k$  a tím i vzdálenost poruchy (zkratu) na vedení od ochrany.



Obr. 9 Připojení distanční ochrany [11]

#### 5.4.4 Rozdílová

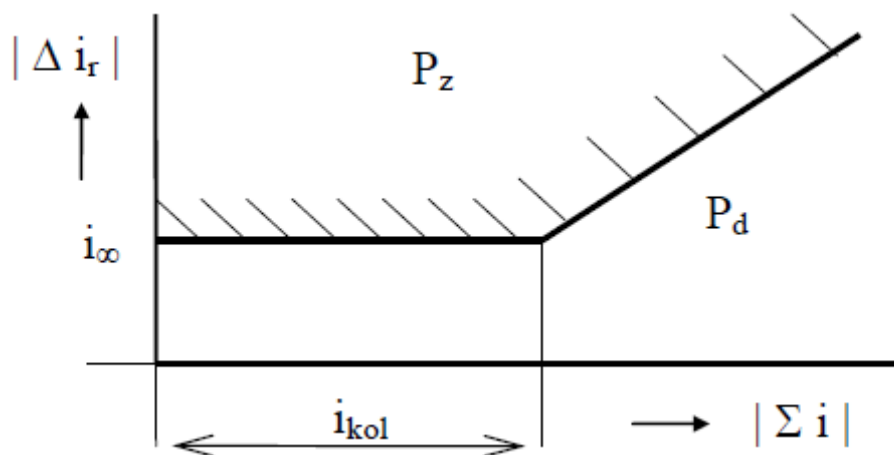
Porucha se určuje z rozdílu proudů, které prochází daným objektem. V normálním provozu platí: [1]

$$\Delta i = \left| \sum_{n=1}^n i_j \right| = 0 \quad (4.3)$$

Při poruše je:

$$\Delta i = \left| \sum_{n=1}^n i_j \right| > 0 \quad (4.4)$$

Ochrana má trvale nastavený dovolený proudový rozdíl  $i_\infty$ . Zvýší-li se hodnota rozdílového proudu  $\Delta i$  nad hodnotu trvale nastavenou, dojde k sepnutí ochrany.



Obr. 10 Charakteristika rozdílové ochrany [11]

#### 5.4.5 Srovnávací

Mezi vstupním a výstupním proudem se měří fázový úhel. Není-li objekt v poruše, je úhel mezi měřenými proudy nulový, platí:  $\arg(i_a, i_b) = 0$ . Při poruše, např. zkratu, pak platí:  $\arg(i_a, i_b) = \pi$ . Rovnice srovnávací ochrany je: [1]

$$|\varphi| = |\arg i_a - \arg i_b| = \alpha \quad (4.5)$$

Postupem času se stroje vyvíjí a mají větší výkony. Jako následek je zvětšení akumulace tepla při poruše (zkratu), proto jsou požadavky na rychlost ochran větší. Počítače dokáží reagovat na poruchovou informaci mnohem rychleji. Je tedy zapotřebí soustředit se na hledání metod, které umožní zrychlit funkci z fyzikálního principu.

## 6 Závěrečné zhodnocení

Elektroenergetika je důležitý obor, do něhož spadá přenos elektrické energie a její následné využití. Energie je neustále zapotřebí, bez ní by domácnosti, firmy a stroje nemohly fungovat. Mnoho lidí tento fakt přehlíží a elektrickou energii považuje za každodenní samozřejmost, aniž by věděli jaké podmínky musí být splněny pro její bezproblémový přenos. Tento obor má velkou budoucnost, protože energie bude vždy zapotřebí. Její spotřeba se ročně zvyšuje, a proto se při návrhu vedení nehledí pouze na současný stav, ale dbá se i na budoucí potřebu. Vedení musí být vedeno co nejkratší cestou a musí být dostupné pro montáž a případné opravy. Snahou je neustále snižovat náklady na výstavbu při zachování potřebných mechanických vlastností.

Vedení rozdělujeme na kabelové a venkovní, použití záleží na jeho situování. V lesích a nad volným terénem bych volil jednoznačně venkovní vedení. Všude tento způsob přenosu elektrické energie však není možný. A to hlavně z hlediska bezpečnosti, nedostatku prostoru atp. V těchto případech bych tedy volil kabelové vedení.

Ať už se použije jedno či druhé vedení, musí vyhovovat mnoha různým požadavkům. V první řadě je to zajištění spolehlivé dodávky elektrické energie. S tím souvisí dimenzování vedení tak, aby odolalo elektrickému i mechanickému namáhání. Dalším požadavkem je hospodárnost vedení, na kterou se při návrhu také značně nahlíží.

Dojde-li k nepředvídatelné události či poruše, snažíme se minimalizovat možné riziko dalších škod. Minimalizace je prováděna za pomoci ochrany. Ochrany musí umět správně vyhodnotit, zda je dané zařízení v mezích normy, nebo zda se jedná o poruchu. Jedná-li se o poruchu, musí zareagovat rychle a selektivně, aby se zabránilo zničení zařízení a byla vypnuta pouze ta část, ve které porucha nastala. Při takovém vypnutí je přerušeno dodávky elektrické energie omezeno na minimum.

Přínosem této bakalářské práce je rozšíření znalostí jak mých, tak čtenářů. Práce tedy může sloužit jako učební pomůcka studentům, nebo jako stručná učební osnova učitelům při jejich výuce. Jsou v ní rozepsány základní informace, na které by se mohlo v dalším studiu navázat a rozvinout vybrané kapitoly do širšího kontextu. V jedné bakalářské práci však takové obsáhlé téma nelze zcela vyčerpat a ani to není jejím účelem. Případným navázáním diplomové práce by se mohlo také zahrnout více kapitol např. elektrické stanice, elektrické parametry venkovních vedení nebo přechodné jevy, které doprovází elektrizační soustavy a mnoho dalších.

## Seznam použité literatury

- [1] Dohnálek,P.: Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL, 1978
- [2] Hodinka,M.: Přenos a rozvod elektrické energie, SNTL, 1989
- [3] Santarius,P.: Elektrické stanice a vedení, Skripta VŠB-TU Ostrava, 1990
- [4] Trojánek,Z.: Přechodné jevy v elektrizačních soustavách, SNTL, 1987
- [5] Dimenzování vedení [online].[Citováno 3. ledna 2010]. Dostupné z WWW:  
[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody\\_lomy/09\\_dimenzovani.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody_lomy/09_dimenzovani.pdf)
- [6] Jmenné zobrazení pojmů [online].[Citováno 26. března 2010]. Dostupné z WWW:  
<http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/jmenne-zobrazeni-pojmu.html>
- [7] Namáhání vodičů venkovního vedení [online].[Citováno 10. února 2010]. Dostupné z WWW: <http://elektro.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4151>
- [8] Rozpětí podpěrných bodů [online].[Citováno 10. ledna 2010]. Dostupné z WWW:  
[www.uur.cz/images/publikace/internetoveprezentace/.../3-2-20080630.pdf](http://www.uur.cz/images/publikace/internetoveprezentace/.../3-2-20080630.pdf)
- [9] Schéma sítě ES ČR [online].[Citováno 12. února 2010]. Dostupné z WWW:  
[http://www.eru.cz/user\\_data/files/statistika\\_elektro/rocní\\_zpráva/2006/mapy/17.htm](http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocní_zpráva/2006/mapy/17.htm)
- [10] Stanovení průřezu v závislosti na dovoleném úbytku napětí [online].[Citováno 24. února 2010]. Dostupné z WWW:  
<http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/norm055.html>
- [11] Teoretický rozbor ochrany [online].[Citováno 22. února 2010]. Dostupné z WWW:  
[http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni\\_materialy/ochrany/Ochrany-%FAvod.pdf](http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/ochrany/Ochrany-%FAvod.pdf)
- [12] Typy stožárů venkovního vedení [online].[Citováno 12. února 2010]. Dostupné z WWW:  
<http://www.tzb-info.cz/t.py?i=4183&t=2>
- [13] Ukládání kabelů do země [online].[Citováno 12. února 2010]. Dostupné z WWW:  
<http://elektrika.cz/data/clanky/vvvatd040521>
- [14] Základní pojmy [online].[Citováno 6. března 2010]. Dostupné z WWW:  
HTU[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AHXlvAb-1p0J:www.pslib.cz/pe/skola/studijni\\_materialy/prezentace/elektroenergetika/4\\_rocnik/mechanika\\_vedeni.pps+z%C3%A1kladn%C3%AD+pojmy+pro+venkovn%C3%AD+veden%C3%AD&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=firefox-a](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AHXlvAb-1p0J:www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/prezentace/elektroenergetika/4_rocnik/mechanika_vedeni.pps+z%C3%A1kladn%C3%AD+pojmy+pro+venkovn%C3%AD+veden%C3%AD&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=firefox-a)UT